

## پیاده‌سازی نرم‌افزاری آشکارساز Ex-CFAR و استخراج مقادیر بهینه‌ی پارامتر $\beta$ برای

### محیط دریایی

جهان جمشیدی<sup>۱\*</sup>، محمد علائی<sup>۲</sup>، عبدالله مهدلو<sup>۳</sup>، علی ناصری<sup>۴</sup>

۱-۲،۳- کارشناس ارشد، ۴- استادیار، گروه الکترونیک دانشگاه جامع امام حسین(ع)

(دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۱۸)

#### چکیده

حضور محیط ناهمگن و اهداف تداخلی در سیستمهای عملی رادار، سبب کاهش کارایی CA-CFAR در آشکارسازی صحیح هدف و یا افزایش آژیر خطا می‌گردد. به منظور رفع این نقیصه آشکارسازهای EX-CFAR معرفی شده‌اند که در آنها از نوعی آستانه گذاری نرم استفاده می‌شود. در آشکارسازهای مذکور پارامتر تفکیک گر ( $\beta$ ) به منظور تعیین معیاری برای حذف مقادیر نامتعارف در پنجره تخمین زنده توان نویز، نقشی اساسی بازی می‌کند. در این مقاله پارامتر تفکیک گر ( $\beta$ ) برای نسبت های مختلفی از احتمال آژیر خطا در آشکارساز EX-CFAR مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مقادیر بهینه آن برای نسبت های مختلفی از احتمال آژیر خطا، استخراج شده است. از آنجاییکه رادار مدنظر این مقاله یک رادار مراقبت دریایی با برد متوسط و رزولوشن نه چندان بالا بوده است، مدل کلاتر K برای محیط فرض شده است. سپس برای مدل فرض شده، پارامترهای شکل و مقیاس تعیین شده است. در ادامه اهداف تداخلی به صورت دو هدف، سه هدف و چهار هدف و با استفاده از شبیه سازی در محیط MATLAB ایجاد شده‌اند و کارایی EX-CFAR با توجه به پارامترهای آنالیز شده با CA-CFAR مقایسه شده است. در شبیه سازی های انجام شده در این مقاله، آشکارسازی با استفاده از تک پالس مورد نظر بوده است.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی، EX-CFAR، CA-CFAR، رادار، اهداف تداخلی، پارامتر تفکیک‌گر.

## Software Implementation of Ex-CFAR Detector and Determination of Optimum Value for $\beta$ Parameter in Marine Environment

J. Jamshidi\*, M. Alaei, A. Mahdloo, A. Naseri

Department of Electronic, Imam Hossein University

(Received: 07/13/2011, Accepted: 04/06/2012)

#### Abstract

Presence of inhomogeneous environment and interfering targets in practical radar systems, cause a reduction at CA-CFAR performance in either detection probability of target or false alarm ratio of system. Hence EX-CFAR detector implies a soft thresholding, in which the excision parameter ( $\beta$ ) plays a key role to determine a criterion for eliminating unordinary values at window of noise power estimation. Consequently in this paper the excision parameter have been surveyed and analyzed for different values of false alarm probabilities and the optimum ones are extracted. Since the considered radar of this paper was medium range poor resolution radar system, probability density function of K has been assumed in clutter modeling. Accordingly the shape and scale parameters are estimated for the assumed method. Consequently the performance of EX-CFAR implying the estimated values is evaluated and compared with CA-CFAR in circumstances of facing with 2, 3 or 4 interfering targets using MATLAB simulations. In these simulations, mono pulse detection was deliberated.

**Keywords:** Detection, Ex-CFAR, CA-CFAR, Radar, Interfering Target, Excision Parameter.

\* Corresponding author E-mail: Jamshidi.J62@gmail.com

## ۱. مقدمه

حذف نمونه‌های (CML)؛<sup>۶</sup> حصول یک تخمین مناسب از سطح نویز نامشخص را به دنبال خواهد داشت و عملکرد خوبی را در حضور اهداف بزرگ ارائه می‌دهد [۱۰ و ۱۱]. این آشکارساز تخمین خوبی از توان نویز را بعد از حذف تعداد مشخصی از نمونه‌های بزرگ‌تر از یک سطح خاص را به دست می‌دهد.

تکنیک جدیدتر، طرح Excision-CFAR است. این پردازشگر مشکل همگنی را با تفکیک نمونه‌های بزرگ‌تر سلول‌های مرجع حل می‌کند. عملکرد این طرح به طور معمول در مقایسه با طرح متداول CA-CFAR هنگامی که در محیط همگن کار می‌کند کاهش نمی‌یابد و کاهش عملکردش در صورتی که اهداف تداخلی زیاد باشد، به طور معمول کم است [۱۲]. عمل تفکیک‌سازی این اطمینان را می‌دهد که محاسبه آستانه‌ی آشکارسازی بر پایه‌ی مجموعه‌ای از داده‌ها باشد که شامل اهداف تداخلی نمی‌باشند و بنابراین سطح نویز را به صورت بهتری نمایش می‌دهد. حتی اگر در جداسازی تمام اهداف تداخلی اشتباهی صورت پذیرد، این پردازشگر اهداف بزرگ را تفکیک می‌کند و فقط اهدافی تفکیک نمی‌شوند که از مقدار پارامتر تفکیک‌گر کوچک‌تر باشند [۱۳ و ۱۴].

هدف این مقاله، تعیین مقادیر بهینه پارامتر تفکیک‌گر آشکارساز Ex-CFAR، به‌ازای مقادیر مختلف احتمال هشدار اشتباه<sup>۷</sup> و مقایسه عملکرد این آشکارساز (در حضور پارامترهای بهینه‌ی پیشنهادی) با آشکارساز متداول CA-CFAR در حالت وجود تعداد دلخواه از اهداف تداخلی برای رادارهای دریایی است. برای این منظور در بخش آتی به بیان توضیحاتی در مورد محیط دریایی و توزیع آن پرداخته می‌شود. بخش سوم به تعیین مقدار پارامتر شکل (۷) توزیع K برای محیط دریایی اختصاص داده شده است. در بخش چهارم به معرفی کامل آشکارساز Ex-CFAR و طریقه‌ی عملکرد آن پرداخته شده است. در ادامه و در بخش پنجم به تعیین ضریب تفکیک گر ( $\beta$ ) آشکارساز Ex-CFAR برای مقادیر مختلف  $P_{fa}$  پرداخته شده است. در ادامه قدرت آشکارسازی این آشکارساز به ازای پارامترهای تفکیک گر مختلف رسم شده است و در پایان عملکرد این آشکارساز با آشکارساز متداول CA-CFAR، در حالت وجود ۲، ۳ و ۴ هدف تداخلی مورد مقایسه قرار گرفته است.

## ۲. آشکارساز Ex-CFAR

در حالت کلی می‌توان گفت، این پردازشگر یک پردازشگر CA-CFAR است که در آن سعی شده است قبل از آشکارسازی نمونه‌های تداخلی حذف شود. این پردازشگر در مرحله اول از یک آستانه‌ی اولیه برای حذف هدف‌های تداخل کننده‌ی احتمالی استفاده می‌کند. سپس نمونه‌هایی باقی‌مانده را با هم جمع کرده و با ضرب حاصل جمع در یک ضریب آستانه، برای  $P_{fa}$  معین، آستانه‌ی نهایی

آشکارسازی سیگنال‌ها در حضور نویز، یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین مسائل در دنیای ارتباطات است. کارهای زیادی برای حل این مشکل صورت گرفته است که اغلب بر این اساس که پارامترهای سیگنال و نویز معلوم هستند، بنا نهاده شده‌اند. این فرض در بسیاری از مسائل یک فرض منطقی است، اما نمی‌توان این فرض را برای بسیاری دیگر از مسایل در نظر گرفت. طراحی آشکارسازها در چنین شرایطی که توان نویز از قبل مشخص نیست و تغییرات اساسی می‌کند، کار مشکل و چالش برانگیزی است. راه حل معمول تعیین آستانه از طریق تخمین محلی توان کلی نویز است. عملکرد آشکارساز در نویز ایستاد باید مستقل از توان نویز بماند تا نرخ هشدار اشتباه ثابت (CFAR)، حاصل شود. در محیط همگن<sup>۱</sup> تعداد محدود داده‌های پردازشی باعث افت آشکارسازی نسبت به آشکارساز بهینه می‌شود. به‌منظور کاهش این تلفات نیاز است که تعداد نمونه‌های پردازش شده افزایش یابند. اما افزایش تعداد نمونه‌های پردازشی احتمال رخ دادن حالت ناهمگنی<sup>۲</sup> در سلول‌های مرجع را بالا می‌برد. دلایل اصلی از دست رفتن حالت همگنی داده‌ها، اهداف تداخلی<sup>۳</sup> و لبه‌های کلاتر می‌باشند [۱].

به‌کارگیری پردازشگر CA-CFAR، کاهش شدید عملکرد در حضور اهداف تداخلی و لبه کلاتر را به دنبال خواهد داشت [۴-۲]. سیگنال‌های بازگشتی از اهداف ثانویه و اهداف فرعی (کلاتر) باعث بالا رفتن آستانه‌ی آشکارسازی و در نتیجه کاهش احتمال آشکارسازی می‌شوند. این امر نشانگر آن است که باید مصالحه‌ای بین حفظ حالت همگنی با کاهش تعداد سلول‌های پردازشی و کاهش تلفات آشکارسازی از طریق افزایش آن صورت پذیرد. چندین مکانیسم تخمین زنی غیر خطی برای حل این مشکل پیشنهاد شده است. این مکانیسم‌ها به‌طور معمول بر پایه تقسیم سلول‌های مرجع به دو بخش متقارن نسبت به سلول مرجع بنا نهاده شده‌اند. سپس از این دو گروه متوسط گیری کرده و حداکثر (GO) یا حداقل (SO) مقدار انتخاب می‌شود. طرح انتخاب مقدار حداکثر برای تعیین آستانه‌ی آشکارسازی در حضور لبه‌ی کلاتر<sup>۴</sup> و طرح انتخاب مقدار حداقلی برای مسئله وجود اهداف تداخلی مناسب‌تر است [۵، ۶ و ۷]. دیگر طرح پیشنهادی پردازشگر آمارگان رتبه (OS)<sup>۵</sup> است که با مرتب‌سازی و سپس انتخاب نمونه‌ی N ام به عنوان آستانه‌ی آشکارسازی به آشکارسازی می‌پردازد. سلول‌های دارای بزرگ‌ترین نمونه‌ها به نظر می‌رسد که شامل اهداف باشند. بنابراین تکنیک آمارگان رتبه باعث می‌شود که آستانه فقط از نمونه‌های شامل نویز به دست آید و در نتیجه در صورت وجود اهداف تداخلی، تلفات آشکارسازی زیادی نداشته باشیم [۸ و ۹]. از طرفی دیگر، آشکارساز

<sup>۱</sup> Homogenous

<sup>۲</sup> Non Homogenous

<sup>۳</sup> Interfering Target

<sup>۴</sup> Clutter Edge

<sup>۵</sup> Order Statistic

<sup>۶</sup> Censored Mean Level

<sup>۷</sup> Probability of False Alarm

هنگامی که توزیع‌های متفاوت ترکیب شوند، مدل گوسی حاصل شده از تئوری حد مرکزی<sup>۶</sup> می‌تواند به کلاتر اعمال شود. تجربه نشان داده داده است که در چنین شرایطی در نظر گرفتن مدل‌های گوسی برای رادار مناسب است؛ اما در صورتی که رادارها دارای قدرت تفکیک بالا باشند و از امواج با پهنای باند باریک استفاده کنند؛ توزیع‌های ویبول، لوگ نرمال و K پیشنهاد می‌شود.

در مورد اول چون سطح وسیعی از سلول‌ها در نظر گرفته می‌شود؛ برای این نوع رادارها، تغییرات امواج دریا، تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی سطح کلی ندارد. بنابراین تئوری حد مرکزی قابل اعمال است و در نتیجه فرض گوسی بودن می‌تواند به کلاتر دریا اعمال شود. در صورتیکه آشکارسازی یک سیگنال ضعیف در نزدیکی یک کلاتر قوی مد نظر باشد؛ استفاده از توابع راداری با پهنای پالس کوچک‌تر و برد تفکیک نزدیک به ۱۲ متر، مورد نیاز است.

همچنین فرض گوسی بودن کلاتر درست نیست و امواج دریایی طبیعت غیر ایستاد بودن خود را نمایان‌تر می‌کنند [۱۵]. در این مقاله توزیع K برای کلاتر دریا در نظر گرفته شده است، زیرا این توزیع مناسب‌ترین توزیع برای تشریح کلاتر دریا ذکر شده است [۳، ۱۶-۱۸].

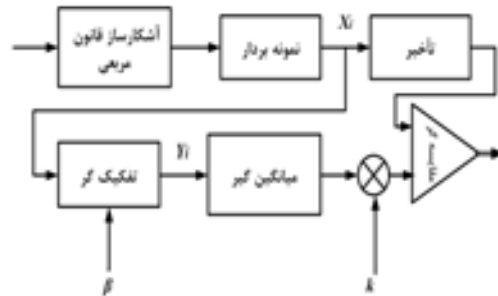
### ۳-۱. توزیع K

یکی از توزیع‌های مهم که برای مدل‌سازی دامنه کلاتر سطحی، به‌خصوص کلاتر دریا مناسب است؛ توزیع K است. توزیع K یک توزیع دو پارامتری مرکب است که از دو جزء تشکیل شده است. این توزیع نوسانات سریع رایلی را که با تغییرات کند با توزیع گاما<sup>۷</sup> مدوله مدوله شده است را توصیف می‌کند [۱۹]. متغیر تصادفی  $x$  با توزیع  $k$ ، پارامتر شکل  $v$  و پارامتر مربوط به توان  $b$ ، دارای تابع چگالی احتمال زیر است:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{2b}{\Gamma(v)} \left(\frac{bx}{2}\right)^v K_{v-1}(bx) & , x > 0, b > 0, v > 0.1 \\ 0 & , \text{others} \end{cases}$$

در این رابطه  $\Gamma(0)$  تابع گاما و  $k_{v-1}(0)$  تابع بسل<sup>۸</sup> اصلاح اصلاح شده‌ی نوع اول از مرتبه‌ی  $(v-1)$  است. این توزیع به‌صورت  $k(v, b)$  نشان داده می‌شود. تابع چگالی احتمال<sup>۹</sup> آن در شکل (۲) به‌ازای پارامترهای شکل مختلف نشان داده شده است.

به‌دست می‌آید. البته مانند تمام روش‌های حذف اتوماتیک، حذف همه هدف‌های تداخل کننده حتمی نیست، اما با انتخاب مناسب آستانه‌ی اولیه، می‌توان اکثر آنها را حذف نمود. شکل (۱) بلوک دیگرام عملکرد این پردازشگر را نشان می‌دهد [۱۴-۱۲ و ۱۷].



شکل ۱. آشکارساز Ex-CFAR

از عملکرد این آشکارساز می‌توان دریافت که علاوه بر اینکه سخت‌افزار و نرم‌افزار لازم برای پیاده‌سازی آن نسبتاً ساده است، می‌تواند در هر گیرنده‌ای که به منظور کار در محیط با تعداد زیاد سیگنال‌های تداخلی طراحی می‌شود، کار کند [۱۷].

قبل از متوسط‌گیری از سلول‌های مرجع، ابتدا مقدار هر کدام از سلول‌ها با یک سطح آستانه‌ی اولیه مقایسه شده و در صورت بزرگ‌تر بودن از سطح آستانه، آن سلول در متوسط‌گیری شرکت داده نمی‌شود. به عبارتی دیگر، سعی شده است که نمونه‌های تداخلی تا حد امکان در مقدار آستانه شرکت داده نشود.

این آشکارساز عملکرد بهتری نسبت به آشکارساز CA-CFA، دارد زیرا در صورت وجود چندین هدف تداخلی در پنجره مرجع CA-CFAR، سطح آستانه به شدت افزایش یافته و احتمال از دست دادن اهداف با دامنه کوچک‌تر به شدت افزایش می‌یابد که این امر موجب کاهش شدید  $P_d$  می‌شود.

### ۳. محیط دریا و توزیع K

دریا یکی از اهداف توزیعی است که برد آکوه‌های آن به ابعاد ناحیه روشن شده توسط پهنای باند رادار بستگی دارد. پارامترهای کلاتر دریا می‌توانند به دو بخش تقسیم شوند: بخش اول شامل پارامترهایی است که به رادار بستگی دارند؛ مثل فرکانس حامل، پهنای باند آنتن، پلاریزاسیون امواج فرستاده شده و پهنای پالس. بخش دوم شامل پارامترهای وابسته به محیط است؛ مثل نوسان‌های آب، ارتفاع امواج دریا، سرعت و جهت باد. مدل‌های زیادی برای تشریح تابع چگالی کلاتر ارائه شده است که هیچ‌کدام به طور کامل نتوانسته است راضی کننده باشد. رایلی<sup>۱</sup>، ویبول<sup>۲</sup>، لوگ نرمال<sup>۳</sup>، ترکیب گوسی<sup>۴</sup> و توزیع K<sup>۵</sup> مدل‌هایی از معروف‌ترین توابع برای این منظور هستند.

<sup>۱</sup> Rayleigh

<sup>۲</sup> Weibull

<sup>۳</sup> Log Normal

<sup>۴</sup> Gaussian

<sup>۵</sup> K-Distribution

<sup>۶</sup> Central Limit Theory

<sup>۷</sup> Gamma

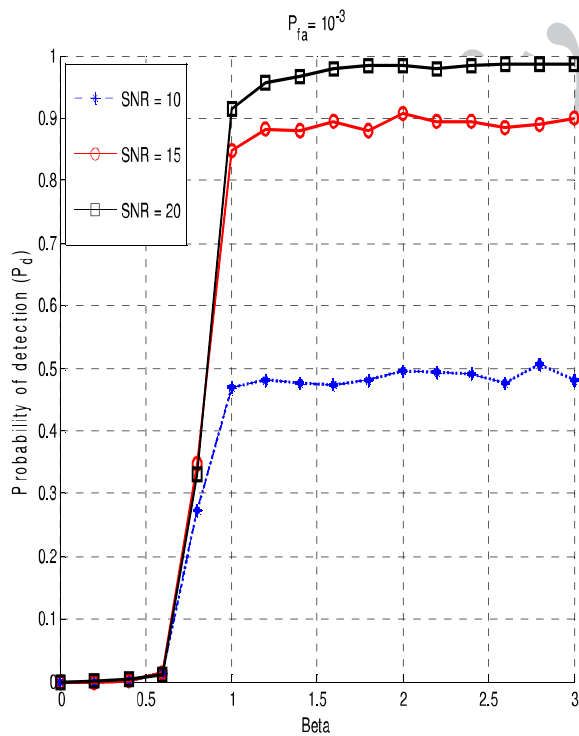
<sup>۸</sup> Bessel

<sup>۹</sup> Probability of Density Function (PDF)

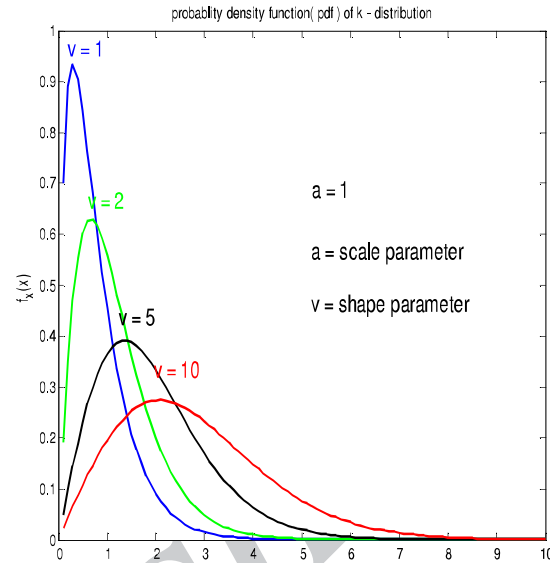
$P_{fa}$  پرداخته می‌شود، تا از آن در شرایط بهینه، به‌منظور مقایسه با طرح پیشنهادی، استفاده شود. برای این منظور نمودارهای  $P_d$  بر حسب  $\beta$  (برای مقادیر مختلف  $P_{fa}$ ) و بر حسب نسبت سیگنال به نویز (SNR) رسم و در شکل‌های (۳-۵) نمایش داده شد. به خوبی پیداست که مقدار ضریب  $\beta$  برای مقادیر مختلف  $P_{fa}$  نمی‌تواند از حدی پایین‌تر باشد، زیرا در آن صورت احتمال آشکارسازی ( $P_d$ ) به شدت افت خواهد کرد.

از طرفی مقدار  $\beta$  نمی‌تواند بیش از حد بزرگ انتخاب شود، زیرا در آن صورت احتمال از دست دادن اهداف ( $P_m$ ) بالا می‌رود؛ لذا این ضریب باید کوچک‌ترین مقداری انتخاب شود که به‌ازای آن، بالاترین مقدار  $P_d$  به دست آید. به‌عنوان مثال از شکل (۳) به خوبی پیداست که برای  $P_{fa}=10^{-3}$  مقدار عددی ۲ برای ضریب تفکیک‌گر  $\beta$  می‌تواند مقدار مناسبی باشد. همچنین از شکل‌های (۴) و (۵) می‌توان مقدار این ضریب را برای  $P_{fa}=10^{-6}$  و  $P_{fa}=10^{-9}$  به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ انتخاب کرد.

در جدول (۱) مقدار ضریب  $\beta$  برای مقادیر مختلف  $P_{fa}$  از  $10^{-2}$  تا  $10^{-9}$  محاسبه شده است؛ لذا در ادامه‌ی شبیه‌سازی‌ها، از این مقادیر برای مقایسه آشکارساز Ex-CFAR با آشکارساز پیشنهادی و آشکارساز CA-CFAR استفاده می‌شود.



شکل ۳. احتمال آشکارسازی بر حسب ضریب  $\beta$  برای مقادیر مختلف SNR ( $P_{fa}=10^{-3}$ )



شکل ۲. تابع چگالی احتمال توزیع K به ازای مقادیر مختلف پارامتر شکل (v)

### ۲-۳. تعیین مقدار پارامتر شکل (v) توزیع K برای محیط دریایی

ارتفاع رادارهای دریایی در محدوده‌ای به صورت زیر قرار دارد [۲۰]:

$$10 m \leq h \leq 3000 m$$

هر چه ارتفاع رادار کمتر باشد؛ پارامتر شکل (v) توزیع K نیز کوچک‌تر می‌شود و کلاتر، شکل تیزتر<sup>۱</sup> و با دم طویل‌تری به خود خواهد گرفت. از طرفی با افزایش ارتفاع رادار، پارامتر شکل (v) نیز بزرگ‌تر خواهد شد. معادله زیر نیز بیانگر رابطه‌ی ارتفاع رادار و پارامتر شکل توزیع K است [۲۰]:

$$v_{clutter} \approx \frac{1}{10} H^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

با جایگذاری رابطه‌ی (۲) در رابطه‌ی (۳) به وضوح پیداست که پارامتر شکل کلاتر K در محیط دریایی، باید در بازه‌ی [۰/۵ : ۱/۵] قرار داشته باشد.

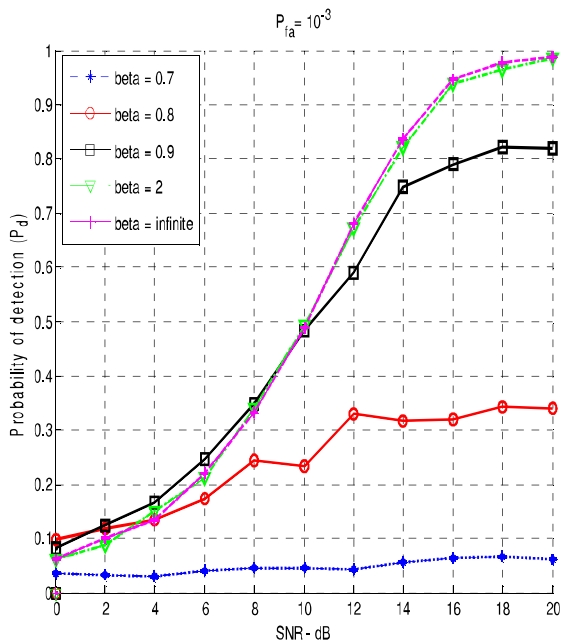
در شرایط عملی، به‌خصوص در محیط دریایی، پارامتر شکل کلاترهای سطحی (از جمله کلاتر دریا)، در بازه‌ی [۰/۵ : ۳] قرار دارد [۱۷]؛ لذا با توجه به این مسئله که کلاترهای تیز عمده‌ترین مشکلات را در آستانه‌گذاری آشکارسازهای CFAR به وجود می‌آورند [۱۷ و ۲۰]؛ پارامتر شکل در بازه‌ی [۰/۵ : ۵] انتخاب شد.

### ۴. تحلیل و بررسی نرم‌افزاری الگوریتم Ex-CFAR

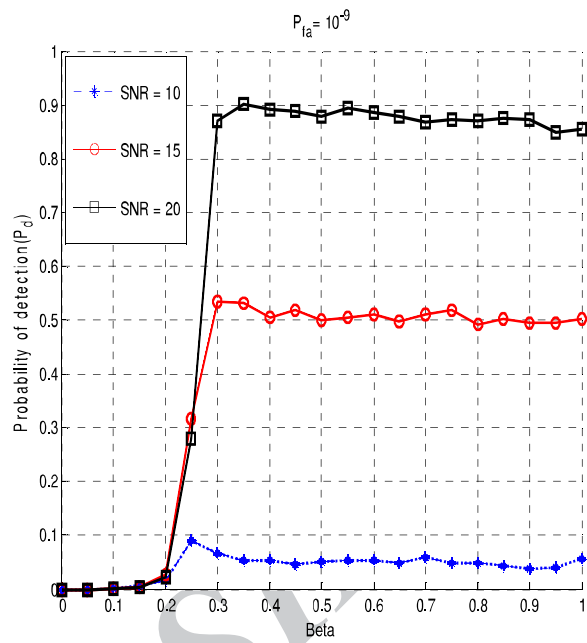
#### استخراج مقادیر بهینه‌ی $\beta$

در این بخش به کمک شبیه‌سازی به تعیین دقیق مقادیر بهینه‌ی ضریب تفکیک‌گر  $\beta$  پردازشگر Ex-CFAR، برای مقادیر مختلف

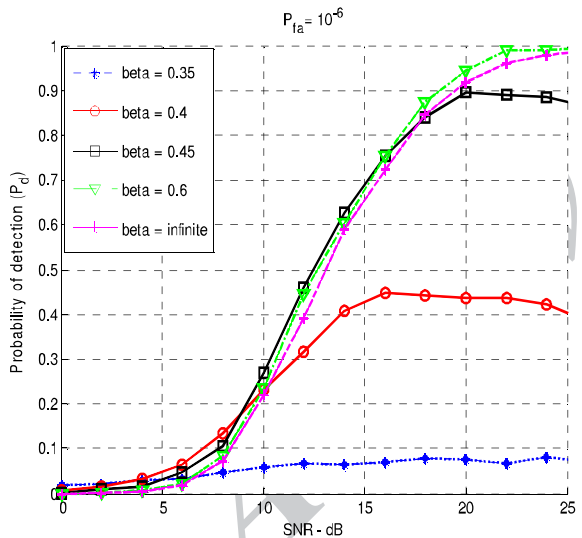
<sup>۱</sup> Spiky



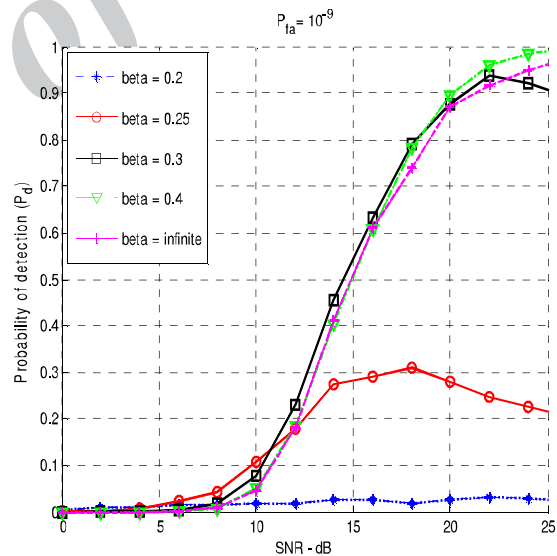
شکل ۵. احتمال آشکارسازی بر حسب SNR آشکارساز EX-CFAR برای مقادیر مختلف  $\beta$  ( $P_{fa}=10^{-3}$ )



شکل ۴. احتمال آشکارسازی بر حسب ضریب  $\beta$  برای مقادیر مختلف SNR ( $P_{fa}=10^{-9}$ )



شکل ۷. احتمال آشکارسازی بر حسب SNR آشکارساز EX-CFAR برای مقادیر مختلف  $\beta$  ( $P_{fa}=10^{-6}$ )

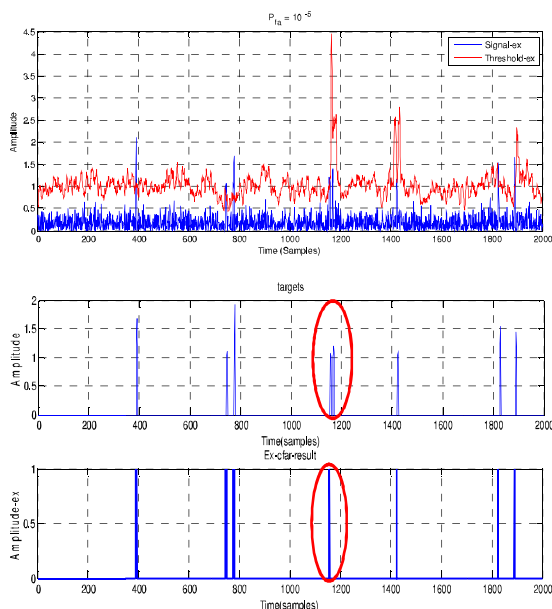


شکل ۶. احتمال آشکارسازی بر حسب SNR آشکارساز EX-CFAR برای مقادیر مختلف  $\beta$  ( $P_{fa}=10^{-9}$ )

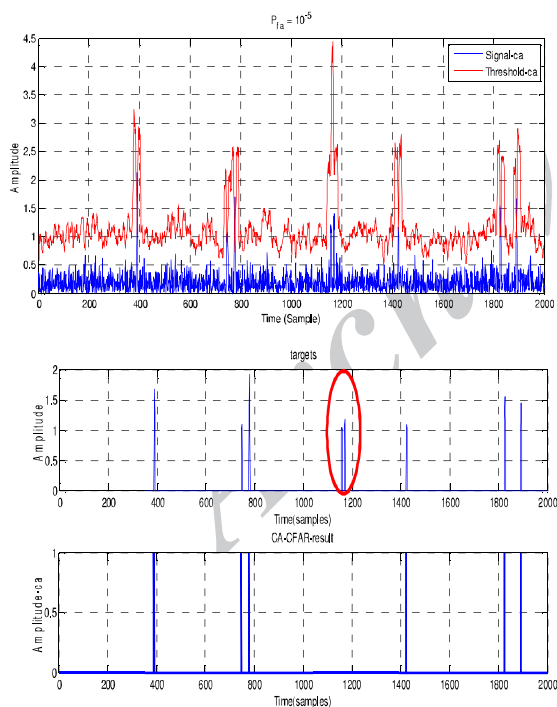
در شکل‌های (۶) تا (۸) نمودار احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز (SNR) برای آشکارساز Ex-CFAR، به‌ازای مقادیر مختلف  $\beta$  و همچنین مقادیر مختلف  $P_{fa}$  به تصویر کشیده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، احتمال آشکارسازی به‌ازای مقادیر پیشنهاد شده برای  $\beta$ ، حداکثر مقدار را دارا است. در این نمودارها مقدار پارامتر شکل برای آشکارساز Ex-CFAR به صورت تصادفی از بازه‌ی [۰/۵ : ۵] انتخاب گردید.

جدول ۱. مقادیر پیشنهادی ضریب تفکیک گر  $\beta$  برای آشکارساز Ex-CFAR

| $P_{fa}$ | $10^{-2}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-5}$ | $10^{-6}$ | $10^{-7}$ | $10^{-8}$ | $10^{-9}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\beta$  | 3.5       | 2         | 1         | 0.8       | 0.6       | 0.5       | 0.45      | 0.4       |



شکل ۸. نمایش رشته داده‌ی شامل دو هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز Ex-CFAR به همراه اهداف



شکل ۹. نمایش رشته داده‌ی شامل دو هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز CA-CFAR به همراه اهداف

## ۵. ارزیابی نتایج حاصله در مقایسه با آشکارساز CA-CFAR

در این قسمت قدرت آشکارسازی طرح‌های CA-CFAR و Ex-CFAR در صورت وجود اهداف تداخلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور، چند رشته از داده‌ها که به ترتیب دارای ۲، ۳ و ۴ هدف تداخلی است، به آشکارسازها اعمال می‌شود و توانایی آشکارسازی اهداف تداخلی آن به‌طور مستقیم مشاهده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدیهی است، آشکارسازی که بتواند در شرایط مشابه، اهداف تداخلی بیشتری را آشکار کند، عملکرد بهتری دارد. در تمام آشکارسازی‌ها مقدار  $P_{fa} = 10^{-5}$  فرض شده است، همچنین برای هر دو آشکارسازها تعداد سلول‌های مرجع ۲۴ فرض شده است ( $N=24$ ). در تمام شکل‌ها اهداف تداخلی با یک بیضی کوچک مشخص شده‌اند.

### ۵-۱. قدرت آشکارسازی پردازشگرها در حالت وجود دو هدف تداخلی

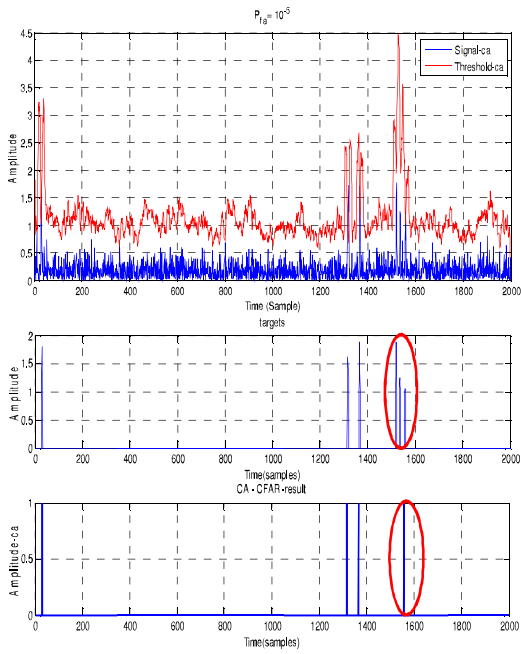
در این قسمت نیز یک رشته ۲۰۰۰ پالسی از داده‌ها که دارای دو هدف تداخلی است، به آشکارسازها اعمال می‌شود تا فرایند آشکارسازی روی آن اعمال شده و به آشکارسازی اهداف تداخلی پرداخته شود همان‌طور که در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است؛ آشکارساز Ex-CFAR یک هدف از دو هدف موجود و آشکارساز CA-CFAR هیچ کدام از دو هدف را آشکار نکرده است.

### ۵-۲. قدرت آشکارسازی طرح‌های مختلف در حالت وجود سه هدف تداخلی

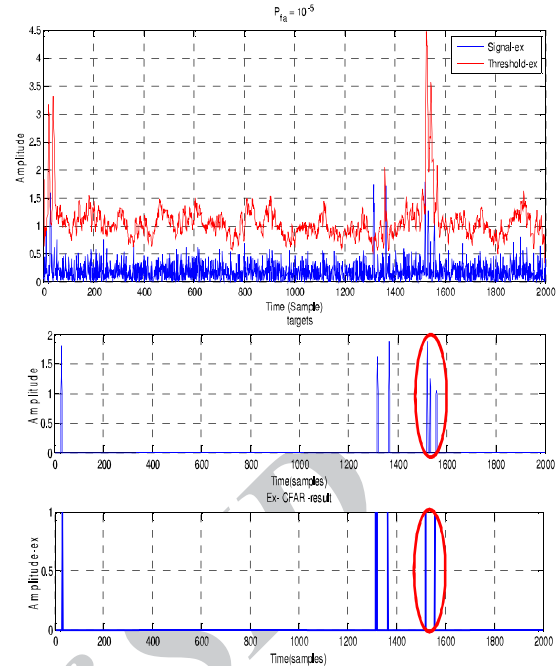
در این قسمت نیز یک رشته ۲۰۰۰ پالسی از داده‌ها که دارای سه هدف تداخلی است، به آشکارسازها اعمال می‌شود تا فرایند آشکارسازی روی آن صورت گرفته و به آشکارسازی اهداف تداخلی پرداخته شود (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). همان‌طور که در این شکل‌ها نشان داده شده است؛ آشکارساز Ex-CFAR دو هدف از سه هدف موجود و آشکارساز CA-CFAR تنها یک هدف از سه هدف تداخلی موجود را آشکار کرده‌اند.

### ۵-۳. قدرت آشکارسازی طرح‌های مختلف در حالت وجود چهار هدف تداخلی

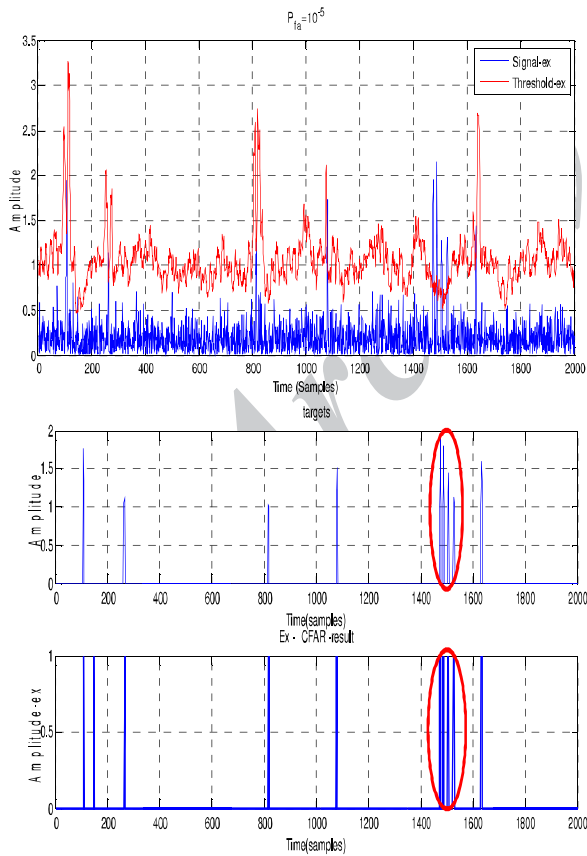
در این قسمت نیز یک رشته ۲۰۰۰ پالسی از داده‌ها که دارای چهار هدف تداخلی است، به آشکارسازها اعمال می‌شود تا فرایند آشکارسازی روی آن صورت بگیرد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). همان‌طور که در این شکل‌ها نشان داده شده است؛ آشکارساز Ex-CFAR هر چهار هدف تداخلی موجود را آشکار کرده‌اند، اما آشکارساز CA-CFAR فقط دو هدف از چهار هدف تداخلی موجود را آشکار کرده است.



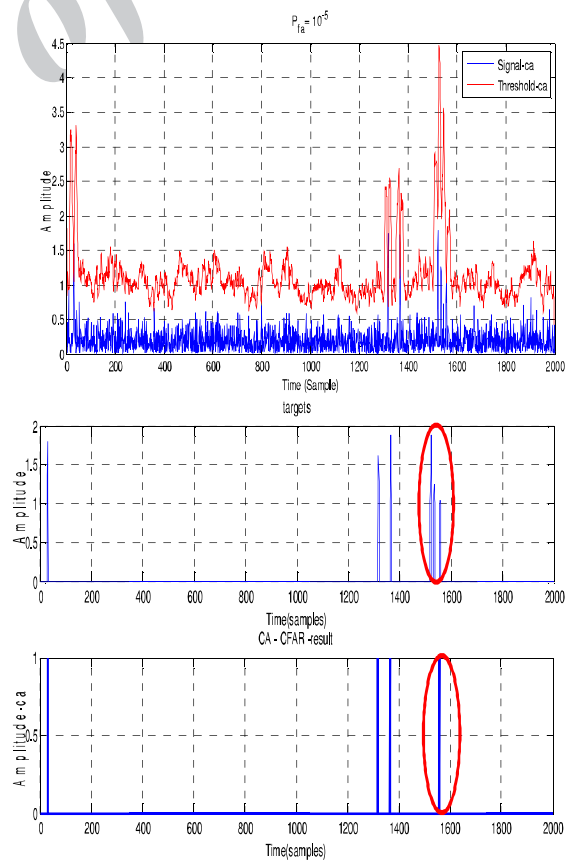
شکل ۱۲. نمایش رشته داده‌ی شامل سه هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز CA-CFAR به همراه اهداف آشکارشده



شکل ۱۰. نمایش رشته داده‌ی شامل سه هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز Ex-CFAR به همراه اهداف آشکارشده

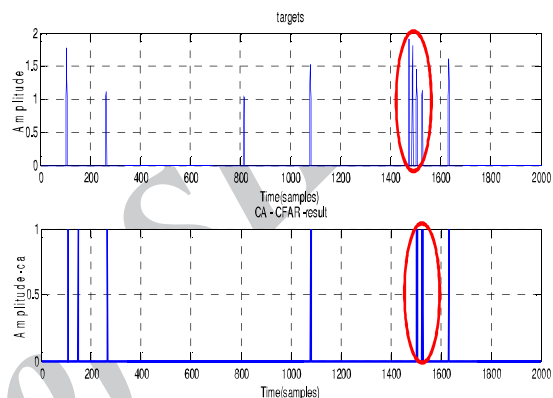
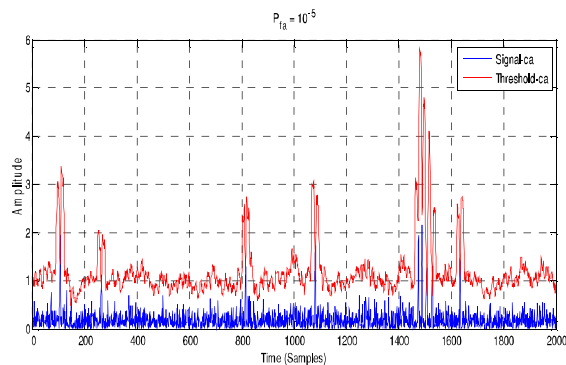


شکل ۱۳. نمایش رشته داده‌ی شامل چهار هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز Ex-CFAR به همراه اهداف آشکارشده



شکل ۱۱. نمایش رشته داده‌ی شامل سه هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز CA-CFAR به همراه اهداف آشکارشده

- [3] Gandhi, P. P.; Kassam, S. A. "Analysis of CFAR Processors in Non Homogeneous Background."; IEEE Trans. On AES. 1988, 24, 427-445.
- [4] Rickard, J. T.; Dillard, G. M. "Adaptive Detection Algorithm for Multiple-Target Situation."; IEEE Trans. On AES. 1977, 13, 338-343.
- [5] Wiess, M. "Analysis of Some Modified Cell-Averaging CFAR Processors in Multiple Target Situation."; IEEE Trans. on AES. 1982, 18, 102-114.
- [6] McLane, P. J.; Wittke, P. H.; Ip, C. K. S. "Threshold Control for Automatic Detection in Radar Systems."; IEEE Trans. On AES. 1982, 18, 242-248.
- [7] Antipov, I.; Baldwinson, J. "Estimation of a Constant False Alarm Rate Processing Loss for a High Resolution Maritime Radar System."; Technical Report, Electronic Warfare & Radar Division. 2008.
- [8] Mashade, E. I.; Mohamed, B. "Performance Analysis of Modified Ordered Statistics CFAR Processors in Nonhomogeneous Environments."; Signal Processing 1995, 41, 379-389.
- [9] Lim, C. H.; Lee, H. S. "Performance of Order-Statistics CFAR Detector with Non Coherent Integration in Homogeneous Situation."; IEE Proc. Pt. F. 1993, 140, 291-296.
- [10] Rickard, J. T.; Dillard, G. M. "Adaptive Detection Algorithm for Multiple-Target Situation."; IEEE Trans. On AES. 1977, 13, 338-343.
- [11] Mashade, E. I.; Mohamed, B. "Analysis of the Censored Mean Level CFAR Processor in Multiple Target And No Uniform Clutter."; IEE Radar, Sonar Navy 1995, 142, 259-266.
- [12] Goldman, H. "Performance of the Excision CFAR Detector in the Presence of Interferers."; IEE Proceedings: Radar, Sonar and Navigation 1997, 137, 163-171.
- [13] Goldman, H. "Analysis and Application of the Excision CFAR Detector."; IEE Proc. 1988, 135, 563-575.
- [14] Conto, E.; Longo, M.; Lops, M. "Analysis of the Excision CFAR Detector in the Presence of Fluctuating Targets."; IEE Proc. 1989, 136, 290-291.
- [15] Alaei, M.; Amiri, R.; Sheykhiha Moghadam, A.; Sepahvand, M. "A New Model for Rain Clutter Cancellation in Marine Radars."; Mathematical/Analytical Modeling and Computer Simulation (AMS), 2010 Fourth Asia International Conference 2010, 296-301.
- [16] Scheleher, D. C. "MTI and Pulsed Doppler Radar."; Norwood, Artech House, 1rd Edition, 1991.
- [17] خلیقی، محمد علی "طراحی یک گیرنده با نرخ هشدار کاذب ثابت به منظور کاربرد در جنگ الکترونیک"، رساله کارشناسی ارشد الکترونیک آنالوگ، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۶.
- [18] تاپان، محمد رضا "شبیه‌سازی رادار"، رساله‌ی کارشناسی ارشد مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۲.
- [19] قربانی، ایاز "اصول سیستم‌های راداری"، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دوره آموزش‌های مجازی، ۱۳۸۸.
- [20] Denny, W. M. "K-Distributed Sea Clutter: Small Target Processing."; IEE International Conference Radar-97, IEE Publication 1997, 449, 591-595.



شکل ۱۴. نمایش رشته داده شامل چهار هدف تداخلی اعمال شده به آشکارساز CA-CFAR به همراه اهداف آشکار شده

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله به آنالیز آشکارساز Ex-CFAR پرداخته شده و مقادیر بهینه برای پارامتر تفکیک گر ( $\beta$ ) آشکارساز Ex-CFAR، برای مقادیر مختلف  $P_{fa}$  از طریق شبیه‌سازی به دست آمد. سپس از مقادیر به دست آمده استفاده کرده و مقایسه عملکرد آشکارساز مذکور با آشکارساز متداول CA-CFAR در شرایط وجود تعداد دلخواه از اهداف تداخلی انجام شد. عملکرد آشکارساز Ex-CFAR در شرایط همگن نسبت به آشکارساز CA-CFAR تغییر چندانی نمی‌کند، اما نتیجه‌های شبیه‌سازی به دست آمده نشان می‌دهد که در صورت وجود اهداف تداخلی، عملکرد به مراتب بهتری دارد و می‌تواند اهداف بیشتری را آشکار نماید.

## ۷. مراجع

- [1] Mashade, E. I.; Mohamed, B. "Performance Analysis of the Excision CFAR Detection Techniques with Contaminated Reference Channels."; Signal Processing 1997, 60, 213 – 234.
- [2] Mashade, E. I.; Mohamed, B. "M-Sweeps Detection Analysis of Cell-Averaging CFAR Processors in Multiple Target Situations."; IEE Radar, Sonar Navy 1994, 141, 103-108.